

Avaliação da contaminação e proposta de remediação de solos em clima tropical, na envolvente de uma unidade de processamento de metais pesados, Minas Gerais, Brasil

Evaluation of the contamination level and proposal of remediation of soils in the basin of a processing plant of heavy metals, under a tropical climate, in Minas Gerais, Brazil

N. Dias^{1*}, R. Fonseca¹, L. Martins¹, A. Araújo¹, A. C. Pinho¹

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: Indústrias metalúrgicas de produção de ligas metálicas podem por em risco toda a área envolvente, nomeadamente a qualidade das águas (superficiais e subterrâneas), dos solos e do ar, sempre que não existam infraestruturas e planos adequados de gestão destes resíduos. No caso em estudo, a unidade industrial situa-se na bacia do rio São Francisco, no estado brasileiro de Minas Gerais, e nos mais de quarenta anos de funcionamento tem produzido inúmeros problemas ambientais. Este estudo baseia-se nos primeiros resultados referentes aos solos da envolvente, tendo como objetivos a identificação dos principais contaminantes e a definição da área contaminada, de forma a avaliar a eficácia de projetos futuros de recuperação.

Palavras-chave: Contaminação de solos, Metais pesados, Fitorremediação.

Abstract: Metal alloy production facilities and its activities may pose a risk to all surrounding areas, including the water, air and the soil quality, compromising the development of the biodiversity of the site, whenever there is no adequate infrastructures to actually receive and treat the wastes.

In this study case, the industrial unit is located in the São Francisco riverside, in Minas Gerais state, Brazil and over more than 40 years, it has produced countless environmental problems. This study refers to the first results of the geochemical data of nearby soils. This data aims to identify which contaminants are present in these soils and to define the contamination extent of the studied area, in order of assessing the effectiveness of future reclamation projects.

Keywords: Soil contamination, Heavy metals, Phytoremediation.

¹Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Geociências, Laboratório AmbiTerro, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora.

*Autor correspondente / Corresponding author: nunofilipe.d@hotmail.com

1. Introdução

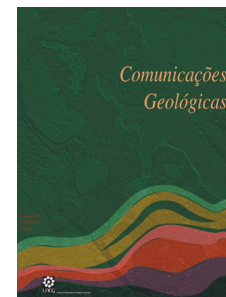
Um dos principais contaminantes nos solos são os metais pesados. Estes podem ocorrer de formas naturais, associados a meteorização de áreas mineralizadas, como é o caso da Faixa Piritosa Ibérica em Portugal ou o Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (Brasil) ou por ação antrópica, devido ao funcionamento de unidades industriais de extração ou processamento de minério. A área em estudo situa-se nas imediações de uma unidade industrial de processamento de zinco, alumínio e níquel,

situada na bacia do rio São Francisco, no estado de Minas Gerais, Brasil. Operacional desde 1969, têm sido ao longo dos anos processados minérios silicatados e sulfuretados (Oliveira & Horn, 2006). Um dos maiores problemas foi a gestão dos resíduos provenientes do seu funcionamento. Apenas em 1983 foi construída a primeira estrutura de contenção, situada na margem direita do rio São Francisco, que não se mostrou eficiente na proteção dos solos e das próprias águas do rio (Oliveira & Horn, 2006). Independentemente dos inúmeros estudos que demonstraram contaminações nas águas superficiais, sedimentos e solos desta área, somente em 2001 foi construída outra barragem de contenção de resíduos, (Oliveira & Horn, 2006). Também nesta barragem, já situada numa zona mais distanciada do rio São Francisco, foram detetados problemas de contaminação (Amador, 2013). Apenas devido a pressões sociais e dos órgãos ambientais foi construída uma terceira barragem de contenção. A contínua despreocupação pela contaminação destas áreas levou a que estas instituições responsabilizassem esta unidade industrial pela limpeza das barragens inativas e pelo melhoramento e recuperação quer destas áreas, quer das imediações da sua unidade.

É nesse projeto que este trabalho se insere, focando-se na recuperação dos solos existentes na envolvente da unidade industrial. Pretende-se assim, nesta primeira fase, compreender quais os elementos contaminantes nestes solos e a extensão desta contaminação, quer em profundidade, quer a nível de área afetada, de modo a discutir qual a melhor técnica de recuperação desta área.

2. Enquadramento

A unidade industrial em estudo localiza-se no município de Três Marias, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Situada junto à margem do rio São Francisco, a área em estudo representa uma área aproximada de 3 km². É limitada a Norte pelo córrego Consciência, a Sul pelo córrego Barreiro Grande, a Oeste pelo rio São Francisco e a Este pela cidade de Três Marias.



Artigo Curto
Short Article

Em termos climáticos, esta zona é caracterizada por um clima tropical de savana, possuindo Invernos secos e Verões chuvosos, temperaturas médias anuais que variam entre 21° e 24°C, precipitação média anual entre 1000 e 1500 mm (Oliveira & Horn, 2006).

De acordo com o mapa geológico à escala 1/100.000, Folha de Três Marias – SE.23-Y-B-III (Soares, 2011), esta área encontra-se inserida na formação de Três Marias. Esta formação pertence ao Grupo Bambuí e foi formada na fase II da orogenia Brasiliana, aquando da formação do supercontinente Gondwana, há cerca de 650-600 Ma em ambiente de plataforma marinha de baixa profundidade (Campos & Dardenne, 1994; Bizzi *et al.*, 2003). Em termos de litologia, a formação de Três Marias é constituída essencialmente por arenitos e siltitos de cor avermelhada ou esverdeada muito imaturos, contendo uma grande quantidade de quartzo e feldspato e minerais pesados como óxidos de ferro, turmalina, zircão, epidoto e granada (Campos & Dardenne, 1994).

Na área amostrada identificam-se vários tipos de solo, representados na tabela 1. Entre estes, destaca-se o solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, um solo pobre em sílica e nutrientes, e rico em óxidos de ferro e alumínio. É um solo ácido (pH entre 4,0 e 5,5), rico em caulinite, hematite, goethite e gibsita, que lhe confere a coloração vermelha e amarela. Apresenta baixa fertilidade apesar de possuir uma grande porosidade, por formar crostas argilosas à superfície, dificultando a infiltração de água. O Gleissolo Háplico é um solo que se encontra permanente ou periodicamente saturado por água, o que o torna pouco fértil devido a

problemas de drenagem e acidez. Solos Litólicos são solos pouco desenvolvidos, normalmente pedregosos e/ou rochosos. Apresentam poucas alternativas de uso por se tratarem de solos pouco espessos (Embrapa, 2011).

3. Procedimento laboratorial

As amostras escolhidas tiveram como base trabalhos prévios, em que tinham sido determinadas áreas contaminadas que seriam recuperadas através de técnicas de fitoremediação, tendo sido estas as áreas-base onde foram recolhidas as amostras nesta primeira campanha. Foram ainda recolhidas amostras fora da envolvente da unidade industrial, que serão utilizadas como um fundo geoquímico local. A localização das amostras encontra-se representada na figura 1. Em cada local de amostragem foram retiradas três amostras a diferentes profundidades, de forma a se obter uma amostra o mais representativa possível de cada local.

A análise laboratorial foi realizada no Laboratório AmbiTerra e consistiu, após secagem, na desagregação e separação da fração superior a 2 mm e na moagem das amostras, seguida da digestão parcial das amostras num digestor micro-ondas *Anton Paar Microwave PRO*, de acordo com a metodologia da EPA para a digestão de solos (EPA, 2007), de forma a determinar as frações mais facilmente extraíveis de elementos metálicos (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn), tendo estas concentrações sido medidas através de espectrometria de emissão ótica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES).

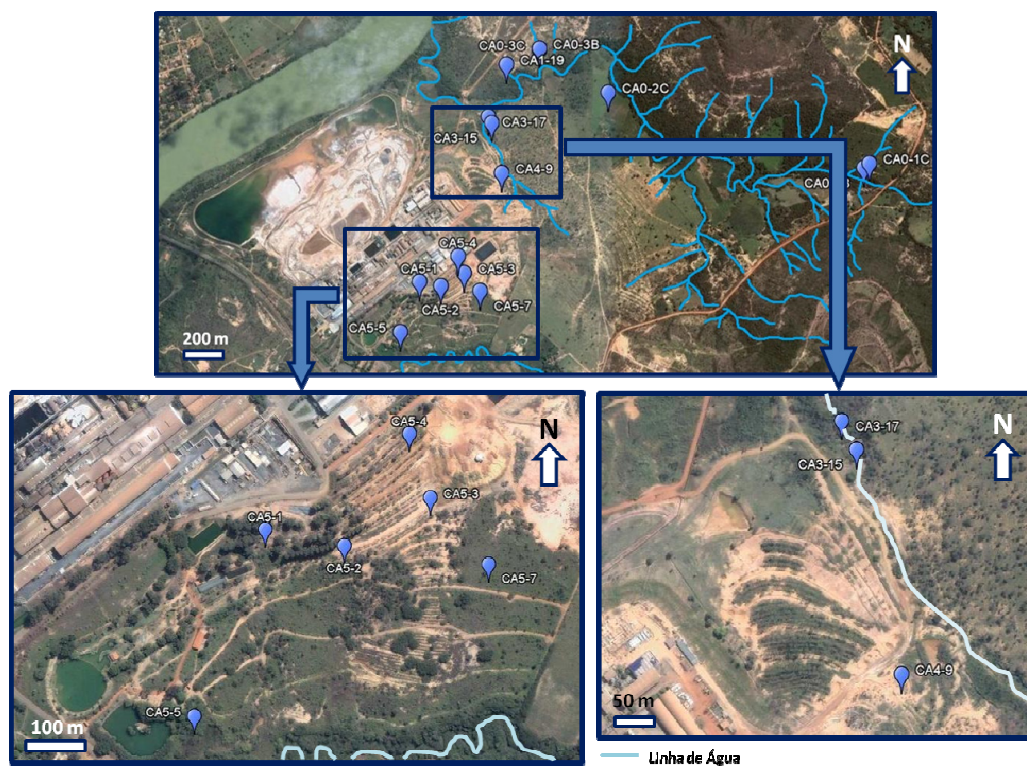


Fig. 1. Localização das amostras. A azul estão marcados as aluviões, enquanto que a vermelho estão marcados os sedimentos.

Fig. 1. Samples' location.

Tabela 1. Tipos de solos amostrados.

Table 1. Soil types.

Amostra	Tipo de Solo
CA5 -1	Zona de Aterro
CA5 -2	Latossolo Vermelho amarelo (LVA)
CA5 -3	Latossolo Vermelho amarelo (LVA); Cobertura do solo por material alóctone
CA5 -4	Latossolo Vermelho amarelo (LVA)
CA5 -5	Gleissolo Háptico (GX)
CA5 -7	Latossolo Vermelho amarelo (LVA)
CA4-9	Latossolo Vermelho amarelo (LVA) em zona de aterro muito degradada
CA3-15	Solo litólico muito pedregoso
CA3-17	Solo litólico (RL) + Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)

4. Resultados e discussão

As concentrações obtidas nas amostras digeridas revelam valores elevados em As, Cd, Cu, Pb e Zn. Os valores obtidos podem ser comparados com valores de referência brasileiros e internacionais. Utilizaram-se valores de referência para o uso agrícola, para avaliar a possibilidade de realizar fitorremediação (CONAMA, 2012; EPA, 2012). A figura 2 mostra os níveis elevados de contaminação na área, para os contaminantes identificados. Entre estes elementos, os principais contaminantes no solo correspondem ao Cd e ao Zn. É possível destacar as amostras CA3-15 e CA5-2 onde se identificam as maiores concentrações, ultrapassando largamente os valores críticos na maioria destes metais.

É ainda possível relacionar as diferenças nas concentrações com a própria topografia e morfologia do terreno. De uma forma geral não se identificam zonas deprimidas na área, sendo que onde o declive é mais acentuado as concentrações em metais pesados são superiores à superfície, diminuído progressivamente com o aumento da profundidade. Em zonas de menor declive, ocorre preferencialmente deposição e, portanto, a concentração em elementos metálicos é superior com o aumento da profundidade.

Tendo em conta que o objetivo final deste projeto é a recuperação ambiental destes solos e o aproveitamento desta área, é necessária a definição de qual a melhor abordagem a este problema. A fitorremediação é uma técnica amplamente utilizada e estudada de modo a diminuir concentrações de metais pesados, *in-situ*. É uma técnica limpa que utiliza plantas de forma a remover contaminantes de águas, sedimentos ou solos. A remoção pode feita de quatro formas (EPA, 2001):

- por degradação, utilizado em poluentes orgânicos (por rizodegradação ou fitodegradação);
- por acumulação (por fitoextração ou rizofiltração);
- por dissipação, por remoção de contaminantes e emissão para a atmosfera (através da fitovolatilização);

- por imobilização, através da contenção numa área específica (por controlo hidráulico ou fitoestabilização).

Assim, a fitorremediação na área em estudo poderá ser realizada utilizando dois métodos principais, a fitoextração e a fitoestabilização. A fitoextração consiste na absorção destes elementos através das raízes das plantas e consequente acumulação na parte aérea (EPA, 2001). Por sua vez, a fitoestabilização consiste na contenção dos contaminantes *in situ* através da modificação das condições biológicas, físicas e químicas do solo (EPA, 2001).

Na tabela 2 encontram-se algumas espécies vegetais selecionadas pela sua capacidade fitoextratora e fitoestabilizadora que são passíveis de suportar as condições físico-químicas na área em estudo, muitas delas endêmicas do Brasil ou da América do Sul. Destacam-se destas espécies a *Pfaffia sp.* pela sua capacidade hiper-acumuladora de Cd e elevada tolerância ao Zn (Carneiro *et al.*, 2002) e a *Gomphrena clausenii*, pela elevada tolerância e acumulação de Cd e Zn (Carvalho *et al.*, 2013).

Tabela 2. Exemplos de espécies vegetais para utilização na fitorremediação da área.

Table 2. Examples of species for use in phytoremediation.

Fitoacumulação			Fitoestabilização	
Espécie	Metal	Referência	Espécie	Referência
<i>Pteris vittata</i>	As	Gonzaga <i>et al.</i> , 2006	<i>Brassica sp.</i>	Soares <i>et al.</i> , s/ data
<i>Pfaffia sp.</i>	Cd	Carneiro <i>et al.</i> , 2002	<i>C. rotundus</i>	Soares <i>et al.</i> , s/ data
<i>Stylosanthes humilis</i>	As	Melo <i>et al.</i> , 2009	<i>C. fissilis</i>	Marques <i>et al.</i> , 2000
<i>Lolium multiflorum</i>	As	Melo <i>et al.</i> , 2009	<i>M. caesalpiniaefolia</i>	Marques <i>et al.</i> , 2000
<i>Brachiaria decumbens</i>	Cu	Andreazza <i>et al.</i> , 2013	<i>A. mangium</i>	Marques <i>et al.</i> , 2000
<i>Canavalia ensiformis</i>	Pb	Gabos <i>et al.</i> , 2009	<i>P. gonoacantha</i>	Marques <i>et al.</i> , 2000; Soares <i>et al.</i> , s/ data
<i>Gomphrena clausenii</i>	Zn, Cd	Carvalho <i>et al.</i> , 2013	<i>E. camaldulenses</i>	Gomes <i>et al.</i> , 2012
<i>Nicotiniana tabacum</i>	Zn, Cd	Zeitouni, 2003	<i>E. grandis</i>	Melo <i>et al.</i> , 2010

5. Conclusões

Tendo em conta os resultados discutidos, é necessário compreender quais os fatores que influenciam o processo de recuperação dos solos. Primeiramente, o próprio tipo de solo influencia a possibilidade de implementação da fitorremediação. Como foi descrito, solos do tipo latossolo vermelho-amarelo permitem, após correção à acidez (pois o pH ótimo para o crescimento de espécies vegetais situa-se entre os 5,2 e 8,0) e da saturação em alumínio, a plantação de espécies vegetais com sucesso, sendo que solos do tipo gleissolo e solo litólico são de mais difícil implementação. As concentrações em metais pesados também determinam a possibilidade de implementação da fitorremediação pois valores muito elevados podem ultrapassar os limites de toxicidade que as plantas podem

suportar. É ainda de destacar que zonas de vertente, como as identificadas são locais de difícil cultivo.

Apesar da grande aplicabilidade da fitoremediação como técnica de recuperação ambiental, muitas vezes relacionada com o seu mais baixo custo quando comparado com outras técnicas de descontaminação utilizando processos físico-químicos, esta possui algumas limitações. Estas relacionam-se com a

necessidade de cultivar um grande número de espécimes de modo ser possível a descontaminação de uma determinada área, o tempo para a obtenção de resultados, a dificuldade de estabelecer as condições necessárias para o cultivo e a impossibilidade de remover poluentes abaixo do nível radicular ou que não se encontrem numa forma bio-acessível (Lasat, 2000).

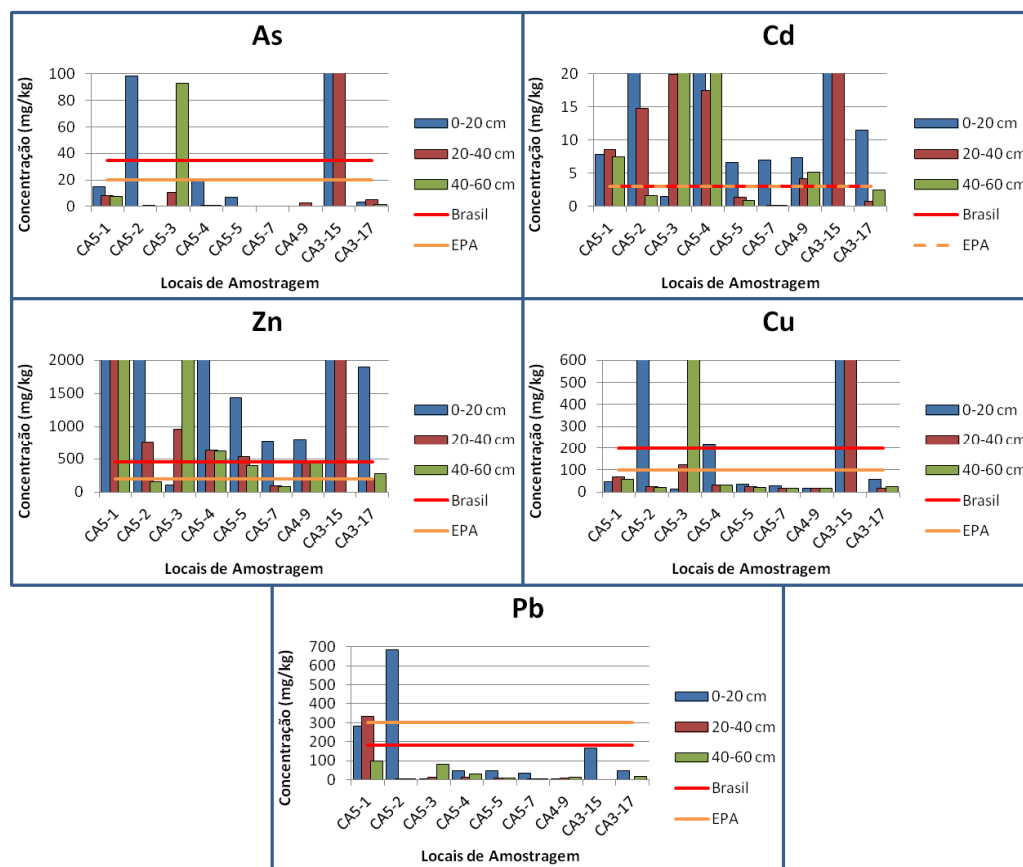


Fig. 2. Comparação dos teores obtidos com os valores de referência brasileiros e da EPA.

Fig. 2. Heavy metal concentration comparison with Brazilian and EPA soil guidelines.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho desejam manifestar o seu agradecimento aos colaboradores do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental AmbiTerra, que permitiram que este trabalho fosse realizado com sucesso.

Referências

- Amador, A., 2013. Ficha Técnica: Luta contra a poluição provocada por barragens de rejeitos. In: Blogue "Conflitos Ambientais Minas Gerais", <http://conflitosambientaismg.ice.ufmg.br/info.php?id=194> (consultado a 07/12/2013).
- Andreazza, R., Bortolon, L., Pieniz, S., Camargo, F.A.O., Bortolon E.S.O., 2013. Copper Phytoextraction and Phytostabilization by *Brachiaria decumbens* Stapf. in Vineyard Soils and a Copper Mining Waste. *Open Journal of Soil Science*, **3**, 273-282.

- Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H., 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, 642 p.
- Campos, J.E.G., Dardenne, M.A., 1994. A Glaciação Neopaleozóica na Porção Meridional da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**(2), 65-72.
- Carneiro, M.A.C., Siqueira, J.O., Moreira, F.M.S., 2002. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **37**(11), 1629-1638.
- Carvalho, M.T.V., Amaral, D.C., Guilherme, L.R.G., Aarts, M.G.M., 2013. *Gomphrena clausenii*, the first South American metallophyte species with indicator-like Zn and Cd accumulation and extreme metal tolerance. *Frontiers in Plant Science*, **4**(180), 1-10.
- CONAMA, 2012. *Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012*. Ministério do Meio Ambiente, 1126 p.

- Embrapa, 2011. *Agência Embrapa de Informação Tecnológica*. <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/> (consultado a 13/12/2013).
- EPA, 2001. *Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites*. Superfund Technology Support Center for Ground Water.
- EPA, 2007. *Method 3051A – Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils*. In “EPA”, <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> (consultado a 15.11.2013).
- EPA, 2012. *Classification and management of contaminated soil for disposal*. Information Bulletin nº.105
- Gabos, M.B., Abreu, C.A., Coscione, A.R., 2009. EDTA assisted phytoremediation of a Pb contaminated soil: Metal leaching and uptake by jack beans. *Scientia Agricola*, **66**(4), 506-514.
- Gomes, M.P., Marques, T.C.L., Carneiro, M.M.L., Soares, Â.M. 2012. Anatomical characteristics and nutrient uptake and distribution associated with the Cd-phytoremediation capacity of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **12**(3), 481-495.
- Gonzaga, M.I.S., Santos, J.A.G., Ma, L.Q., 2006. Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species. *Scientia Agricola*, **63**(1), 90-101.
- Lasat, M.M., 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, **2**(5), 1-25.
- Marques, T.C.L., Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., 2000. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **35**(1), 121-132.
- Melo, R.F., Dias, L.E., de Mello, J.V., de Oliveira, J.A., 2009. Potencial de quatro espécies herbáceas forrageiras para fitorremediação de solo contaminado por arsênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **33**(2), 455-465.
- Melo, R.F., Dias, L.E., de Mello, J.V., de Oliveira, J.A., 2010. Behaviour of *Eucalyptus grandis* and *E. cloeziana* seedlings grown in arsenic-contaminated soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **34**, 985-992.
- Oliveira, M.R., Horn, A.H., 2006. Comparação da Concentração de Metais Pesados nas Águas do rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM-Três Marias. *Geonomos*, **14**(1,2), 55-63.
- Soares, A.C.P., 2011. *Mapa geológico à escala 1:100 000, Folha Três Marias – SE.23-Y-B-III*. Governo do Estado de Minas Gerais, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, CODEMIG.
- Soares, C.R.F.S., Siqueira, J.O., Moreira, F.M.S., Curi, N., Accioly, A.M.A., s/ data. Diagnóstico e reabilitação de solo contaminado por metais pesados: um estudo de caso. In “Universidad Agraria de La Habana”, <http://www.fitorem.unah.edu.cu/Curso%20Recuperaci%C3%B3n%20de%20%C3%A1reas%20agr%C3%ADcolas%20con%20MP.%20M%C3%A9todos%20de%20estudio/materiales/Articulos%20para%20Seminarios/estudo%20de%20caso%20arboreas.pdf> (consultado a 20/12/2013).
- Zeitouni, C.F., 2003. *Eficiência de espécies vegetais como fitoextractoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico*. Tese de mestrado, Instituto Agronômico Campinas (não publicada), 103 p.